

MESTRADO

MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

TRABALHO DE PROJETO

REATRIBUIÇÃO DE SALAS EM HORÁRIOS ESCOLARES NO ISEG

ANA ISABEL FIDALGO GOMES

OUTUBRO – 2018

MESTRADO

MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

TRABALHO DE PROJETO

REATRIBUIÇÃO DE SALAS EM HORÁRIOS ESCOLARES NO ISEG

ANA ISABEL FIDALGO GOMES

ORIENTAÇÃO:

MARGARIDA MARIA GONÇALVES VAZ PATO

MARIA CÂNDIDA VERGUEIRO MONTEIRO CIDADE MOURÃO

OUTUBRO – 2018

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer às minhas orientadoras, Professora Dra. Cândida Mourão e Professora Dra. Margarida Vaz Pato por toda a disponibilidade, apoio, ajuda e orientação ao longo da elaboração deste projeto.

À Ana Filipa Loureiro e à Guilhermina Costa, colaboradoras da secretaria das licenciaturas, por toda a informação e pelos dados que me forneceram ao longo do projeto.

Ao Bruno Jota e ao Daniel Santiago por toda a ajuda e esclarecimentos na parte informática do projeto.

Aos meus *managers* da Leroy Merlin, Ricardo Levezinho e Juan Camarena que ao longo deste ano me facilitaram os horários para poder ir às aulas e reuniões da tese, e para além do mais me deram a motivação necessária para o fazer, um obrigado.

Aos meus amigos um pedido de desculpa pelas ausências nos jantares e nos passeios de fim de semana e um grande obrigado por toda a compreensão e motivação.

Por fim, agradeço a toda a minha família, em especial aos meus pais e irmão, por toda compreensão, ajuda, apoio incondicional e motivação ao longo do meu percurso académico. Um muito obrigado!

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo colmatar a necessidade de otimizar os horários dos alunos de licenciatura do ISEG, para que estes realizem o mínimo de deslocações entre salas no mesmo dia. Assim, o desafio proposto consiste em resolver este problema utilizando o conhecimento adquirido ao longo do mestrado.

Apesar de a Secretaria das Licenciaturas utilizar um programa para a elaboração dos horários das licenciaturas, o *Bullet Education Scheduling and Timetabling* (BEST), este não otimiza as deslocações dos alunos da mesma turma entre as várias salas de aula.

Espera-se que a implementação computacional desenvolvida no âmbito do presente Trabalho Final de Mestrado auxilie a Secretaria das Licenciaturas na elaboração dos horários. Desta forma, a secretaria não necessitará de despender tempo a fazer alterações de salas, processo esse que atualmente é feito manualmente. Assim, será facilitado não só o trabalho da secretaria, como melhorado o dia-a-dia dos alunos e também o dos funcionários desta instituição.

Através do Excel e de programação em VBA procede-se à leitura dos dados fornecidos pela Secretaria das Licenciaturas. Após a leitura dos dados, é aplicada uma Heurística de Trocas sobre os mesmos que permite a criação de horários de melhor qualidade, no que a deslocações dos alunos das várias licenciaturas do ISEG diz respeito. Os dados utilizados no presente trabalho de TFM correspondem ao primeiro semestre do ano letivo 2017/2018.

Assim, após a aplicação da heurística, obtêm-se alterações em 14 dos 79 horários analisados, sendo que o tempo de execução do programa comparado com o processo manual é relativamente baixo, demorando menos de cinco minutos.

Palavras-chave: Horários Escolares; Atribuição de Salas; Heurística de Trocas; VBA.

Abstract

This work aims at filling the need of optimize the timetables of ISEG's bachelor students, so that students make less movements from room to room on the same day. Therefore, the challenge that was proposed to me consists in solving this issue using the knowledge acquired during the master.

Although the bachelors' secretariat uses a program for the preparation of undergraduate timetables, the Bullet Education Scheduling and Timetabling (BEST), it does not optimize the movement of students of the same class between their successive classrooms.

It is expected that the computational implementation developed in the scope of the present masters degree work will assist the secretariat in the preparation of the schedules. As a result, the secretariat will not need to spend time making room changes, a process that is currently done manually. Not only the work of the bachelor's degree secretariat, but also the day-to-day work of the students, staff and teachers of this institution will be improved.

Through Excel and VBA programming, the data provided by the bachelor's degree secretariat is read. After reading the data, a heuristic is applied to produce timetables of better quality, regarding the movements of the undergraduate students of ISEG. The data used in the present study refer to the first semester of the academic year 2017/2018.

After the application of the heuristic, we obtain changes in 14 of the 79 timetables analyzed, and the execution time of the program is significantly low, comparing with the manual process, taking less than five minutes.

Keywords: School Timetables; Room Assignment; Heuristics; VBA.

Conteúdo

Lista de figuras	v
Lista de tabelas	vi
Lista de abreviaturas	vii
1. Introdução	1
2. Definição e enquadramento do caso de estudo	3
2.1 O Instituto	3
2.2 Licenciaturas e suas unidades curriculares	5
2.3 O <i>Bullet Education Scheduling and Timetabling</i>	6
2.4 Caso de estudo	7
3. Revisão da literatura	9
4. Metodologia e dados	12
4.1 Metodologia	12
4.2 Tratamento de dados	14
4.3 Heurística de Trocas	15
4.4 Escrita de resultados	18
5. Programa de reatribuição de salas	19
5.1 Manual de utilização	19
5.2 Procedimentos iniciais	27
6. Análise de resultados	29
6.1 Qualidade inicial	29
6.2 Qualidade final	31
6.3 Comparação antes e depois da aplicação da heurística	33
6.4 Tempo de execução do programa	34
6.5 Análise do pior caso identificado	35
7. Limitações e investigação futura	37
8. Conclusão	38
Referências bibliográficas	39
Anexo	41

Lista de figuras

Figura 1 – Esquematização do programa	13
Figura 2 – Menu de utilização do programa	19
Figura 3 – Extrato da folha de Excel “UC”	21
Figura 4 – Extrato da folha de Excel “salas”	22
Figura 5 – Extrato da folha de Excel “horariotabela”	23
Figura 6 – Análise de resultados da qualidade diária	24
Figura 7 – Análise de resultados da qualidade semanal	24
Figura 8 – Extrato da folha de Excel “salasocup”	24
Figura 9 – Extrato da folha de Excel “horariotabelafinal”	25
Figura 10 – Melhorias da qualidade final face à inicial (Extrato da folha de Excel “horariotabelafinal”)	26
Figura 11 – Extrato da folha de Excel “Salasocupfinal”	26
Figura 12 – Extrato da folha de Excel “horario”	27
Figura 13 – Horário inicial e final da turma MAEG01M21	35

Lista de tabelas

Tabela I – Divisão dos períodos de aulas	7
Tabela II – Valores de qualidade diária inicial	29
Tabela III – Valores de qualidade semanal inicial	30
Tabela IV – Valores de qualidade diária final	31
Tabela V – Valores de qualidade semanal final	32
Tabela VI – Melhoria da qualidade após aplicação da heurística	33
Tabela VII – Tempo médio de execução do programa	34
Tabela VIII – Capacidade das salas do edifício Francesinhas 1 (F1)	41
Tabela IX – Capacidade das salas do edifício Francesinhas 2 (F2)	42
Tabela X – Capacidade do edifício Quelhas	43

Lista de abreviaturas

BEST	<i>Bullet Education Scheduling and Timetabling</i>
F1	Edifício Francesinhas 1
F2	Edifício Francesinhas 2
ISEG	Instituto Superior de Economia e Gestão
MAEG	Matemática Aplicada à Economia e à Gestão
MBA	<i>Master in Business Administration</i>
PLB	Programação Linear Binária
TFM	Trabalho Final de Mestrado
UC	Unidade Curricular
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>

1. Introdução

O principal motivo que levou à elaboração deste projeto foi a necessidade que existe por parte da Secretaria das Licenciaturas do ISEG, Instituto Superior de Economia e Gestão, em criar horários que obriguem a poucas ou nenhuma deslocações entre salas no mesmo dia, para os estudantes das turmas de licenciatura. De salientar que, enquanto aluna do ISEG nos últimos cinco anos, senti eu mesma tratar-se de uma necessidade real, pois num dia de aulas tinha de mudar constantemente de sala.

Dessa forma, o desafio que me foi proposto passava por resolver este problema, recorrendo aos conhecimentos adquiridos com a frequência do mestrado.

Apesar de a Secretaria das Licenciaturas utilizar um programa para a elaboração dos horários das licenciaturas, o *Bullet Education Scheduling and Timetabling* (BEST), este não otimiza as deslocações dos alunos da mesma turma entre as várias salas de aulas.

Atualmente, após os horários serem construídos através do BEST, é necessário que um funcionário da secretaria tente manualmente reduzir as deslocações entre salas, sendo este um processo muito moroso e trabalhoso. Nos últimos dois anos letivos não foi possível à secretaria realizar este trabalho. Assim, os horários utilizados foram os obtidos diretamente pelo BEST, pelo que os alunos se viram confrontados com muitas deslocações entre salas e, até mesmo, entre edifícios.

Uma vez que atualmente o processo de elaboração dos horários é bastante moroso, espera-se que com o presente trabalho seja possível diminuir esse mesmo tempo.

Assim, através da programação em *Visual Basic for Applications* (VBA) procedeu-se à construção de um programa que permite a criação de horários de melhor qualidade, ou seja, com menos deslocações, para os alunos das licenciaturas do ISEG.

Este programa de reatribuição de salas começa por medir a qualidade inicial dos horários, extraídos do BEST. Depois, é aplicada uma heurística melhorativa (Heurística de Trocas), obtendo-se assim novos horários, isto é, com novas salas, para algumas das turmas. Por fim, volta-se a medir a qualidade dos horários, de modo a verificar as melhorias conseguidas.

2. Definição e enquadramento do caso de estudo

2.1 O Instituto

O ISEG, também conhecido por *Lisbon School of Economics and Management*, é a escola de Economia e Gestão mais antiga do país. Foi fundada em 1759 com a designação de Aula do Comércio [1].

Em 1844 a Aula do Comércio foi agregada ao Liceu de Lisboa, formando a Escola de Comércio. Por seu turno, em 1869 esta escola foi integrada no Instituto Industrial de Lisboa, passando a chamar-se Instituto Industrial e Comercial de Lisboa. Já em 1911 o Instituto Industrial e Comercial de Lisboa deu origem ao Instituto Superior Técnico e ao Instituto Superior do Comércio.

No ano de 1930 o Instituto Superior do Comércio e mais três escolas técnicas superiores, as atuais Faculdade de Medicina Veterinária, Instituto Superior Técnico e Instituto Superior de Agronomia, formaram a Universidade Técnica de Lisboa. Nessa altura, o nome do Instituto Superior do Comércio foi alterado para Instituto Superior de Ciências Económicas e Financeiras [1].

Em 1990 a escola adquiriu a atual designação de Instituto Superior de Economia e Gestão. A partir de 2013 começou a fazer parte da Universidade de Lisboa que agrega as antigas Universidade Técnica de Lisboa e Universidade de Lisboa. Trata-se da maior universidade do país, umas das melhor posicionadas nos *rankings* internacionais e das que recebem mais alunos internacionais [1].

Atualmente, o ISEG dispõe de sete licenciaturas, sendo duas delas lecionadas em inglês e outra em parceria com a Faculdade de Motricidade Humana, mais de vinte mestrados, vinte e oito pós-graduações, seis doutoramentos, catorze cursos executivos e um *Master in Business Administration* (MBA) [2].

O ISEG tem como missão “a criação, transmissão e valorização social e económica do conhecimento e da cultura nos domínios das ciências económicas, financeiras e empresariais, num quadro de pluralidade e de garantia de liberdade intelectual e científica, de respeito pela ética e de responsabilidade social”. A sua visão passa por “afirmar-se como uma das melhores escolas de economia e gestão de Portugal, com elevada reputação internacional, reconhecida pela qualidade dos seus graduados, pela investigação realizada e pelo impacto das suas atividades na comunidade envolvente” [3].

Quanto aos seus valores, estes assentam na “diversidade e pluralidade, no respeito pela ética e responsabilidade social, garantia de liberdade intelectual e científica, na avaliação interna e externa e melhoria contínua” [3].

2.2 Licenciaturas e suas unidades curriculares

Este trabalho de projeto incide sobre os horários letivos das diversas licenciaturas do ISEG e, como tal, é feita uma breve descrição de como estas se caracterizam, evidenciando os seus pontos em comum.

Como já mencionado, o ISEG possui atualmente sete licenciaturas.

As primeiras a surgir foram as de Economia, de Gestão, de Finanças e de Matemática Aplicada à Economia e à Gestão (MAEG). Destas, as três primeiras possuem as mesmas unidades curriculares (UCs) no primeiro ano. Por seu lado, MAEG tem apenas algumas UCs em comum com as demais licenciaturas anteriormente referidas, nomeadamente as de Economia I, de Introdução à Gestão, de Economia II e de História Económica e Empresarial.

Nos restantes dois anos de licenciatura existem somente algumas UCs em comum. Relativamente às UCs optativas estas podem ser escolhidas pelos alunos das várias licenciaturas, com restrições em função do currículo.

Devido ao elevado número de UCs e ao facto de muitas vezes serem comuns para várias licenciaturas, o problema da elaboração de horários é bastante complexo. Muitas vezes, a escolha de algumas optativas não é viável devido à sobreposição de aulas.

Já no ano de 2002, em parceria com a Faculdade de Motricidade Humana, surge a licenciatura de Gestão do Desporto, sendo as UCs no âmbito da gestão, economia e matemática lecionadas no ISEG.

Com o acentuar do processo de globalização que se sentiu nos últimos anos e o forte incremento da imagem de Portugal no estrangeiro, o ISEG disponibilizou, em 2013, a licenciatura em *Economics* e, no ano seguinte, em *Management*. Ambas são lecionadas em inglês e englobam as mesmas UCs das licenciaturas em Economia e Gestão. Com estas duas licenciaturas a escola abriu um leque de novas oportunidades, disponibilizando não só as ferramentas para que os alunos no fim das licenciaturas tenham a possibilidade de ingressar em empresas internacionais, ou até no mercado de trabalho fora de Portugal, como também incrementando o fluxo de alunos estrangeiros a estudar no ISEG.

2.3 O *Bullet Education Scheduling and Timetabling*

O *Bullet Education Scheduling and Timetabling* (BEST) é um *software* que gera automaticamente horários. Este foi desenvolvido pela empresa *Bullet Solutions* que foi fundada em 2006 por antigos alunos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Atualmente, a empresa já opera em 11 países num total de 150 faculdades, uma das quais o ISEG [4].

A *Bullet Solutions* foi fundada com um propósito muito objetivo, o de tentar reduzir as discrepâncias entre a teoria e a prática em problemas de horários.

A empresa começou por realizar uma análise e identificação dos requisitos na elaboração dos horários, que foi utilizada na primeira versão do produto *Bullet TimeTabler Education*, um gerador automático de horários. Este produto foi melhorado e ampliado ao longo dos anos com o contributo de diversas escolas de ensino superior, dando origem ao BEST [5].

O BEST elabora os horários semanais para as turmas, combinando e avaliando vários objetivos e restrições do problema de horários escolares. De acordo com os resultados pretendidos por cada instituição, e com recurso a diversos algoritmos, faz também a alocação automática das salas de aulas.

Os vários objetivos e algumas restrições do problema de horários são controlados por penalizações, incluindo o objetivo de minimizar as mudanças de sala. Contudo, o BEST não consegue controlar todas as penalizações em simultâneo. Por esta razão, após os horários serem elaborados ainda existem muitas deslocações entre salas em aulas consecutivas.

2.4 Caso de estudo

A elaboração dos horários para as aulas das licenciaturas do ISEG é efetuada pela Secretaria das Licenciaturas utilizando o *software* BEST. Estes são elaborados para uma semana, aplicando-se de igual forma a todas as 13 semanas de cada semestre letivo. Cada dia de aulas está dividido em períodos de 30 minutos, sendo que o primeiro se inicia às 8:00 e o último termina às 19:30 horas, fazendo um total de 23 períodos (ver Tabela I). Isto no caso das licenciaturas, porque nos mestrados, doutoramentos e pós-graduações os horários são alargados e muitas aulas decorrem em períodos noturnos.

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00-08:30					
08:30-09:00					
09:00-09:30					
09:30-10:00					
10:00-10:30					
10:30-11:00					
11:00-11:30					
11:30-12:00					
12:00-12:30					
12:30-13:00					
13:00-13:30					
13:30-14:00					
14:00-14:30					
14:30-15:00					
15:00-15:30					
15:30-16:00					
16:00-16:30					
16:30-17:00					
17:00-17:30					
17:30-18:00					
18:00-18:30					
18:30-19:00					
19:00-19:30					

Tabela I – Divisão dos períodos de aulas

Na grande maioria dos casos os alunos de licenciatura do 1º ano têm aulas de manhã, os do 2º à tarde e, por fim, os alunos do 3º ano têm aulas nos dois períodos.

As unidades curriculares suportam diversos tipos de aulas. Há UCs que incluem aulas teóricas e aulas práticas e, por outro lado, existem outras que apenas contêm aulas teórico-práticas.

Relativamente às UCs optativas, estas são escolhidas pelos alunos do 3º ano e já têm horários definidos. Assim, cada aluno opta pelas que quer frequentar entre as que pode escolher.

Como as aulas teóricas agregam mais do que uma turma, por sala, e têm normalmente salas específicas para ocorrer, o presente trabalho vai apenas focar-se nas aulas práticas e nas teórico-práticas.

Deste modo, o problema que se pretende resolver tem por objetivo a minimização das deslocações que ocorrem entre aulas consecutivas de uma turma por dia, admitindo apenas alterações de salas de aulas práticas ou teórico-práticas que incluam alunos de apenas uma turma. De facto, muitas das vezes, num mesmo dia, os alunos de uma dada turma, trocam sucessivamente de sala e até mesmo de edifício.

Todavia este problema tem diversas restrições, a saber:

- ✓ No mesmo período só pode existir uma aula a decorrer em determinada sala;
- ✓ Quando se afeta uma sala a uma UC de uma turma, esta deve ter capacidade para todos os alunos inscritos (neste estudo as capacidades das salas não foram consideradas);
- ✓ Uma UC que necessite da utilização de computadores tem de ser afeta a uma sala de informática;
- ✓ As aulas práticas e teórico-práticas não devem ser lecionadas em salas de aulas teóricas, ou seja, nos grandes anfiteatros e auditórios.

Na secção 4 é apresentado um programa informático desenvolvido para dar resposta a este problema e na secção seguinte, secção 5, é exposto o manual de utilização do mesmo. Já na secção 6, são apresentados os resultados obtidos com a utilização do programa. Para além disso, na secção 3, é feita uma pequena revisão da literatura relacionada com o tema em estudo e, por fim, na secção 7 é apresentado um conjunto de limitações e são sugeridas possíveis melhorias ao trabalho desenvolvido ao longo deste TFM.

3. Revisão da literatura

A elaboração de horários, também conhecida por *timetabling*, tem sido um assunto bastante estudado desde o século passado até ao presente. Foram desenvolvidos inúmeros modelos que tentam representar diferentes realidades e técnicas para os resolver [6]. Estas técnicas vão desde a programação inteira [6] até algoritmos genéticos [7].

No presente trabalho é tido em conta o artigo de Lindahl et al. [8] no que respeita a algumas das representações das principais variáveis (secção 4) e restrições destes tipos de problemas.

Segundo Wren [9], *timetabling* é a elaboração de horários, sujeitos a restrições (de recursos, tempo) e tentando ao máximo satisfazer determinados objetivos definidos *a priori* (“Timetabling is the allocation, subject to constraints of given resources to objects being placed in space time, in such a way as to satisfy as nearly as possible a set of desirable objectives”).

Existem vários tipos de problemas relacionados com horários. Por exemplo, o caso dos horários para os exames/testes intercalares, no qual o objetivo é minimizar o número de provas a decorrer no mesmo dia para os mesmos alunos. Este mesmo problema foi estudado e modelizado, para o ISEG, pelo aluno Tiago Duarte, no âmbito do seu TFM do mestrado em Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial, intitulado “Escalonamento de provas de avaliação: Uma aplicação” [10].

Nos horários de aulas utilizados em escolas básicas/secundárias, cada aluno está alocado a uma determinada turma, sendo que esta tem um horário definido para cada disciplina.

Já no que diz respeito aos horários de aulas em universidades, estes são de dois tipos. No caso das universidades americanas, os horários são definidos para as várias UCs e cada aluno escolhe quais frequentar, ficando com um horário personalizado. Pelo contrário, há casos em que os horários são desenhados de forma semelhante ao modelo do secundário, sendo elaborado um horário para cada turma.

Contudo, no que respeita às unidades curriculares optativas, os horários são inicialmente definidos e cada aluno escolhe quais quer frequentar. Assim, dentro da mesma turma há alunos com horários diferentes.

Através dos artigos de Demirović et al. [11] e de Saviniec et al. [12] é possível fazer uma comparação entre a elaboração de horários nos ensinos secundário e universitário, permitindo perceber que alguns problemas que surgem a nível secundário e a nível universitário são bastante semelhantes, nomeadamente no ISEG.

Uma vez que os horários afetam centenas de alunos num determinado semestre, este tema é de elevada relevância, fazendo com que a diferença entre um bom e um mau horário tenha bastante impacto.

Os problemas de decisão relativos à elaboração de horários são de três tipos: operacionais, táticos e estratégicos. Sendo que os três tipos estão interligados entre si, usualmente começa-se por resolver os problemas de ordem estratégica, seguidamente os táticos, e por fim, os operacionais. Os problemas estratégicos incluem decisões de longo prazo e têm um elevado impacto nos restantes dois tipos de problemas. A título ilustrativo refere-se a construção de um novo edifício e a decisão de quantas salas e de que tipo este vai comportar.

Já os problemas táticos, são de médio prazo e envolvem decisões como a escolha das unidades curriculares de cada curso, a duração do curso bem como a carga horária que deve ser lecionada em cada dia de aulas.

Por fim, os problemas operacionais são de curto prazo e consistem em decidir que aulas são lecionadas em cada sala e a hora a que ocorrem. É através da resolução deste tipo de problema que se obtêm os horários finais.

Este trabalho incide sobre um problema operacional, que consiste em reafectar as unidades curriculares às várias salas do ISEG e medir a qualidade dos horários obtidos, no que respeita a mudanças de sala. Deste modo, em cada semestre devem ser resolvidos novos destes problemas operacionais.

É de ressaltar a importância dos estudos referidos na elaboração de algoritmos que geram automaticamente horários, uma vez que o mesmo processo desenvolvido manualmente é muito demorado.

Um evento de elevada importância sobre *timetabling* é a competição internacional de *timetabling* (“International Timetabling Competition”) [13]. Este evento realizou-se pela primeira vez em 2002, e repetiu-se nos anos de 2007, de 2011 e de 2016, sendo a próxima edição já no próximo ano, 2019. O seu objetivo é desenvolver atividades de pesquisa na área educacional e estimular o debate dentro da comunidade científica. Estes encontros têm contado com participantes de várias partes do mundo.

A competição está dividida em três fases, sendo cada fase de carácter eliminatório. Em cada fase da competição são fornecidos aos participantes dados para a resolução de diversos problemas. Consequentemente, são desenvolvidas e testadas para este efeito novas técnicas que, futuramente, poderão vir a ser utilizadas em problemas de contexto real.

4. Metodologia e dados

Neste capítulo é descrito o funcionamento do programa e apresentado o pseudocódigo da Heurística de Trocas, inspirada no procedimento manual que tem sido usado no ISEG para melhorar os horários, no que respeita às salas de aula das licenciaturas. É também definido um conjunto de variáveis que auxiliam na leitura do pseudocódigo.

4.1 Metodologia

Em cada semestre letivo está-se perante novos horários para as licenciaturas, logo existe um novo problema. Consequentemente, a Heurística de Trocas deve ser aplicada em cada novo semestre, tomando como *input* os horários para as licenciaturas, as salas disponíveis para estes cursos, bem como as características das salas e das unidades curriculares.

Seguidamente, é apresentada a nomenclatura utilizada na apresentação da heurística e no pseudocódigo:

T = Conjunto de turmas

$|T|$ = Número de turmas existentes

U = Conjunto de unidades curriculares

$D = \{1 - \text{Segunda}; 2 - \text{Terça}; 3 - \text{Quarta}; 4 - \text{Quinta}; 5 - \text{Sexta}\}$, conjunto dos dias da semana

S = Conjunto das salas

$|S|$ = Número de salas existentes = 69

$P = \{1, \dots, 23\}$, conjunto dos períodos de aula num dia

$L = \{F1; F2; \text{Quelhas}\}$, conjunto dos edifícios onde estão localizadas as salas

$C = \{N - \text{Sala normal}; I - \text{Sala de informática}; T - \text{Sala teórica}\}$, conjunto das características das salas

$X = \{T - \text{Teórica}; P - \text{Prática}; TP - \text{Teórico-prática}\}$, conjunto dos tipos de aula

$E = \{O - \text{Ocupada}; L - \text{Livre}\}$, estado de ocupação da sala

$Mudou = \{\text{True}, \text{False}\}$ – variável booleana a indicar se já houve troca e que é atualizada no procedimento “Troca”

O programa, desenvolvido em VBA, inclui procedimentos (passos a realizar) que são apresentados de seguida. Este é constituído por três módulos principais: Tratamento de dados (secção 4.2); Heurística de Trocas (secção 4.3); Escrita de resultados (secção 4.4), como apresentado de forma esquemática na Figura 1.

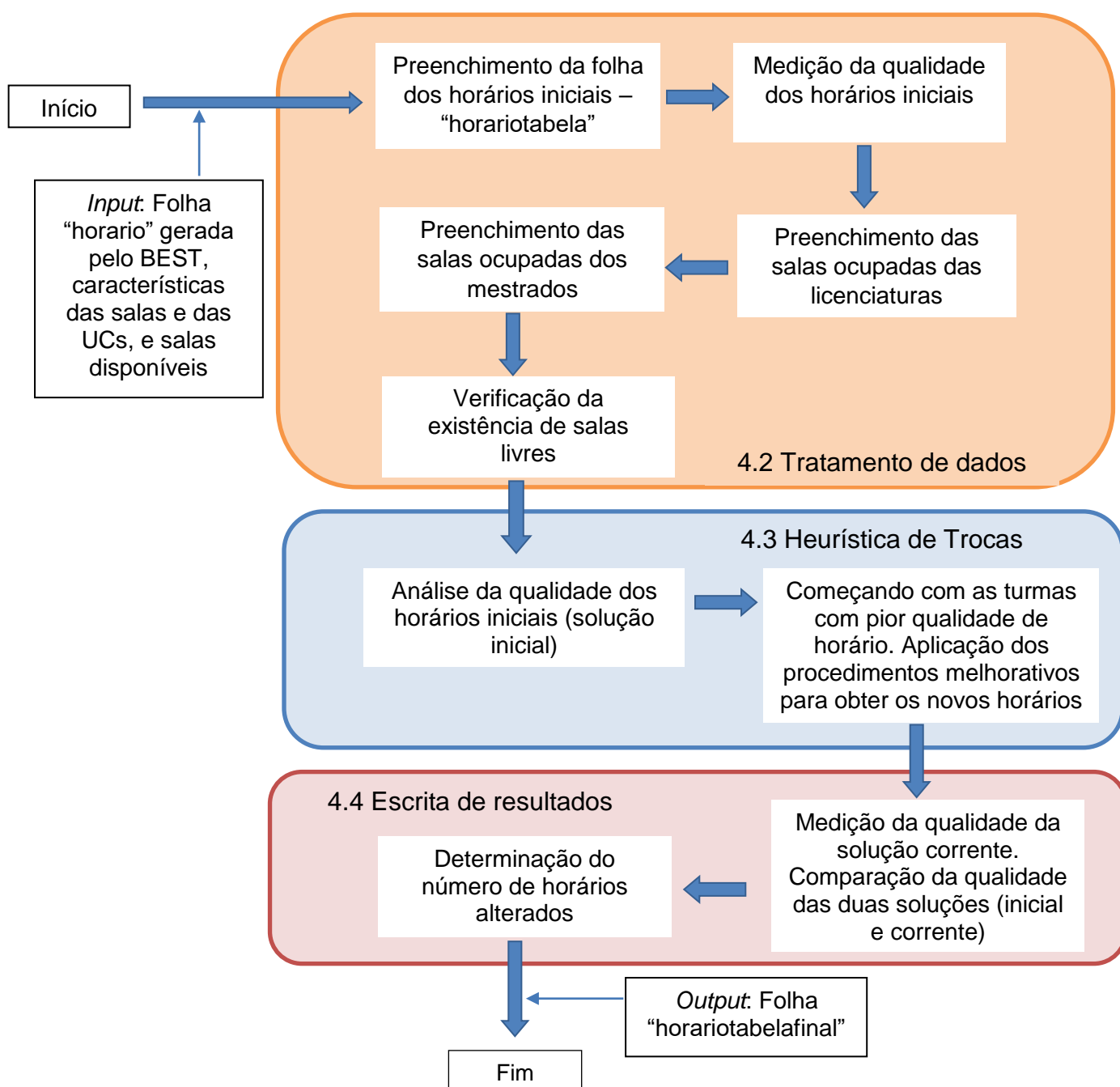


Figura 1 – Esquematização do programa

4.2 Tratamento de dados

O primeiro passo do programa consiste no tratamento do *input* extraído do BEST, ou seja, são lidos os dados da folha de Excel “horario” e é preenchida a folha “horariotabela” (Figura 5, pág. 23). Desta forma, obtém-se um horário para cada turma, representado em forma de tabela.

Seguidamente, é feita a mensuração da qualidade dos horários por turma. Sendo esta medida em função do número de alterações de salas que ocorrem, ou seja, quanto mais alterações de salas, em aulas consecutivas, pior é a qualidade do horário da turma. Esta medição recorre à seguinte escala:

- 0 – Se não mudar de sala em aulas consecutivas;
- 1 – De cada vez que se muda para uma sala no mesmo corredor (pisos), em aulas consecutivas;
- 2 – De cada vez que se muda para uma sala no mesmo edifício, mas em corredores (pisos) diferentes, em aulas consecutivas;
- 3 – De cada vez que se muda para uma sala noutra edifício, em aulas consecutivas.

O índice de “qualidade” de uma turma é obtido por adição dos valores diários obtidos para cada turma.

Por exemplo, a turma ECN01E01 (Figura 5), tem na quinta-feira duas aulas, a primeira, CIF-E, ocorre na sala 107 do edifício F2, já a aula seguinte ocorre na sala 103, do mesmo edifício. Assim, como ambas ocorrem no mesmo piso do mesmo edifício, o valor obtido é de 1.

Segue-se o preenchimento da folha “salasocup” (Figura 8, pág. 24), isto é, colocam-se as aulas das UCs das licenciaturas lecionadas nos edifícios F1, F2 ou Quelhas, no respetivo período em que se realizam.

Repete-se o passo anterior, para as salas de mestrado. Desta forma, é feita a colocação das aulas dos mestrados que se realizam entre as 8:00 da manhã e as 19:30 horas, na folha “salasocup” no respetivo período. Para simplificação, em vez de ter a turma, é colocado um M, permitindo, assim, distinguir as aulas dos mestrados das aulas das licenciaturas. Após o preenchimento total da folha “salasocup” com as turmas das licenciaturas e dos mestrados, verifica-se quais as salas livres existentes nos diferentes períodos dos dias.

4.3 Heurística de Trocas

O procedimento principal do programa é a heurística melhorativa. Esta começa a análise pelas turmas com pior qualidade de horário.

Assim, para a turma em análise, consideram-se as aulas por ordem de aparecimento no horário (de 2^a a 6^a feira, do 1^o ao 23^o período), começando por verificar as seguintes condições:

- se a aula for teórica ($x=T$), não se realiza troca, mantém-se a sala atual;
- se a aula for lecionada numa sala de informática ($c=I$), não se realiza troca, mantém-se a sala atual;
- se há mais do que uma turma a partilhar a aula, mantém-se a sala atual.

Caso não se verifique nenhuma das condições anteriores (para a aula em análise), averigua-se a possibilidade de mudar a aula em questão para a mesma sala da aula anterior ou da aula seguinte, caso estas também não estejam naquelas condições.

Caso seja possível, muda-se a aula para a sala da aula anterior ou da aula seguinte. Caso contrário, estuda-se a possibilidade de trocas entre pisos ou edifícios, ou seja:

- se a aula em análise e a sua predecessora (ou a sua sucessora) ocorrem em pisos diferentes do mesmo edifício, mudar, se possível, a aula em análise para uma sala do mesmo piso da sua predecessora (ou sucessora), baixando, assim, a qualidade em 1 ponto;
- se as aulas adjacentes ocorrem em edifícios diferentes, muda-se, se possível, a aula em análise para uma sala do mesmo edifício e, caso seja possível, no mesmo piso, diminuindo a qualidade em 1 ou 2 pontos, respetivamente.

Apresenta-se a Heurística de Trocas em forma de pseudocódigo, representando o programa construído em VBA. Para tal, é utilizada a notação definida na secção 4.1 deste capítulo.

Heurística: Melhorativa

Inicialização (input): horários iniciais produzidos pelo BEST para todas as turmas

Para $t = 1$ **até** $t = |T|$ // turmas ordenadas por ordem decrescente de índice de "qualidade"

Para $d = 1$ **até** $d = 5$

Para $p = 1$ **até** $p = 22$

mudou = False

Seja "aula" a aula do período p do dia d da turma t

Seja "sala" $\in S$ a sala onde ocorre a "aula"

Seja $c \in C$ a característica da "sala"

Seja $x \in X$ o tipo da "aula"

Sejam (pisos, piso_ant, piso_seg) os pisos das salas respetivas

Sejam (ed, ed_ant, ed_seg) os edifícios das salas respetivas

Se apenas há uma turma em "sala" **então**

Se ($x = P$) **ou** ($x = TP$) **então**

Chamar Caso 1 (sala, sala_ant, sala_seg)

Se mudou = False **então**

Chamar Caso 2 (sala, piso, piso_ant, piso_seg)

Fim se

Se mudou = False **então**

Chamar Caso 3 (sala, piso, ed, piso_ant, piso_seg, ed_ant, ed_seg)

Fim se

Fim se

Fim se

Considerar p da próxima aula

Seguinte d

Seguinte t

Procedimento: Troca (sala_1, sala_2) // verificar se a aula que está a ser lecionada na sala_1 pode mudar para a sala_2

Seja "c" a característica da sala_2

Seja "e" o estado de ocupação da sala_2

Se ($c \neq I$) **e** ($c \neq T$) **e** ($e = L$) **então**

Mudar a aula da sala_1 para a sala_2

mudou = True

Fim se

Fim

Procedimento: Caso 1 (sala, sala_ant, sala_seg) // verificar se 2 aulas podem mudar para a mesma sala

mudou = False

Se ($sala \neq sala_ant$) **então**

Troca (sala, sala_ant)

Se (mudou = False) **e** ($sala \neq sala_seg$) **então**

Troca (sala, sala_seg)

Fim Se

Fim Se

Fim

Procedimento: Caso 2 (sala, piso, piso_ant, piso_seg) // verificar se é possível mudar para o mesmo piso

```

mudou = False
Se (piso <> piso_ant)
    Seja sala_2 uma sala livre em piso_ant
    Se (existe sala_2) então
        Troca (sala, sala_2) // qualidade baixa 1 ponto
        Se (mudou = False) e (piso <> piso_seg) então
            Seja sala_2 uma sala livre em piso_seg
            Se (existe sala_2) então
                Troca (sala, sala_2) // qualidade baixa 1 ponto
            Fim se
        Fim se
    Fim se
Fim se
Fim

```

Procedimento: Caso 3 (sala, piso, ed, piso_ant, piso_seg, ed_ant, ed_seg) // verificar se é possível mudar para o mesmo edifício ou o mesmo piso

```

Se (mudou = False) então
    Seja sala_2 uma sala livre em piso_ant
    Se (existe sala_2) então
        Troca (sala, sala_2) // qualidade baixa 2 pontos
        Se (mudou = False) então
            Seja sala_2 uma sala livre em ed_ant
            Se (existe sala_2) então
                Troca (sala, sala_2) // qualidade baixa 1 ponto
            Fim se
        Fim se
    Fim se
Fim se
Se (mudou = False) então
    Seja sala_2 uma sala livre em piso_seg
    Se (existe sala_2) então
        Troca (sala, sala_2) // qualidade baixa 2 pontos
        Se (mudou = False) então
            Seja sala_2 uma sala livre em ed_seg
            Se (existe sala_2) então
                Troca (sala, sala_2) // qualidade baixa 1 ponto
            Fim se
        Fim se
    Fim se
Fim se
Fim

```

4.4 Escrita de resultados

Nesta secção são medidos e analisados os resultados da aplicação da heurística.

A qualidade dos horários obtidos (no caso de se terem verificado alterações) é calculada e é representada na folha “horariotabelafinal” (Figura 9, pág. 25).

Seguidamente, compara-se a qualidade da solução encontrada com a da solução inicial. Esta comparação é apresentada na folha “horariotabelafinal” num quadro com as melhorias de qualidade (ver Tabela VI, pág. 33).

Por fim, é determinado o número de horários alterados, correspondente à soma do número de ocorrências semanais, da Tabela VI.

5. Programa de reatribuição de salas

5.1 Manual de utilização

Nesta secção é apresentado o funcionamento do programa informático bem como as instruções para a sua utilização.

Em primeiro lugar, para aceder ao programa é necessário abrir o ficheiro de Excel intitulado “Reafetação de salas”. Na primeira folha deste ficheiro encontra-se o menu do programa.

Menu

A folha “menu” (Figura 2) é a interface para o utilizador interagir com o programa. O menu é constituído por diversos botões. O primeiro, “Unidades Curriculares”, permite aceder à lista de UCs existentes (Figura 3, pág. 21). O botão “Salas” é idêntico ao anterior, mostrando uma listagem das várias salas do ISEG (Figura 4, pág. 22), com a informação relevante.



Figura 2 – Menu de utilização do programa

O botão seguinte na lista é “Limpar dados”. Este permite ao utilizador limpar todos os resultados das várias folhas de *output* do programa, sendo estas “horariotabela”, “horariotabelafinal”, “salasocup” e “salasocupfinal”.

O quarto botão, “Preparar dados”, é um dos mais importantes do programa. Antes de carregar em qualquer outro botão temos de clicar neste, para serem realizadas alterações aos dados iniciais, permitindo, assim, que os restantes botões funcionem. Na próxima secção deste trabalho, “Procedimentos iniciais” (5.2), serão explicadas pormenorizadamente estas alterações.

Seguidamente, consta o botão “Preencher dados iniciais”, para fazer a leitura dos dados, presentes na folha “horario”, e preenchimento da folha “horariotabela” (Figura 5, pág. 23) e da folha “salasocup” (Figura 8, pág. 24). Desta forma, é possível visualizar os horários de todas as turmas, bem como visualizar, de forma simples, as salas que estão livres e ocupadas ao longo dos vários períodos de cada dia da semana.

O botão “Calcular qualidade inicial”, visa o cálculo da qualidade, tanto por dia como por semana, dos horários iniciais. A qualidade é apresentada na folha “horariotabela” (Figura 5) nas linhas 27 e 29.

O penúltimo botão do programa, “Modificar horários”, permite ao utilizador executar a Heurística de Trocas e, deste modo, tentar modificar os horários iniciais de todas as turmas. Assim, à semelhança do botão “Preencher dados iniciais” também são preenchidos dois *outputs*, o “horariotabelafinal” (Figura 9, pág. 24) e o “salasocupfinal” (Figura 11, pág. 26), desta forma, é possível visualizar os novos horários.

Por fim, o botão “Calcular qualidade final” é utilizado para apresentar, na folha “horariotabelafinal”, a qualidade dos vários horários, também nas linhas 27 e 29 (Figura 9).

Inputs

A segunda folha do ficheiro Excel “Reafetação de aulas”, denominada “UC” (Figura 3), contém a informação relevante sobre as várias unidades curriculares das licenciaturas do ISEG é usada, como referido, pelo programa principal.

Esta contém, na primeira coluna, um número identificador da UC, criado para facilitar a utilização do programa. Na segunda coluna está a sigla da UC e, por fim, na última coluna consta o nome da mesma.

	A	B	C
1	Número UC	Sigla UC	Nome UC
2	1	CIF	Cálculo e Instrumentos Financeiros
3	2	E1	Economia I
4	3	HEE	História Económica e Empresarial
5	4	IG	Introdução à Gestão
6	5	M1	Matemática I
7	6	AIEE	Análise da Informação Económica e Empresarial
8	7	CGE1	Contabilidade Geral I
9	8	E2	Economia II
10	9	ID	Introdução ao Direito

Figura 3 – Extrato da folha de Excel “UC”

A terceira folha, "salas" (Figura 4), à semelhança da folha "UC", tem na primeira coluna, o número identificador da sala, criado para este projeto. Na coluna seguinte surge a informação do edifício onde se localiza a sala, ou seja, o edifício e o número real da sala. A terceira coluna identifica isoladamente o edifício em que a sala se encontra. Segundo a apresentação da nomenclatura no capítulo 4, os edifícios existentes são designados por Francesinhas 1 (F1), Francesinhas 2 (F2) e Quelhas. A quarta coluna mostra o número real/nome da sala e a quinta coluna o piso em que a sala se encontra, que varia entre -1 e 4 (-1,0,1,2,3,4). Assim, com a informação da terceira, quarta e quinta colunas, é possível fazer o cálculo da qualidade dos vários horários. A sexta coluna tem a lotação da sala.

Por último, a coluna G, sétima, identifica a característica da sala: o valor 1 representa uma sala normal (N na designação de variáveis do capítulo 4), o 2 uma sala de informática (I) e o valor 3 uma sala que só permite aulas teóricas (T). A característica da sala é outro aspeto importante a ter em conta quando se faz a reafetação das salas, pois uma aula de informática só se pode realizar numa sala do tipo 2 e nunca se pode mudar uma aula prática ou teórico prática para uma sala do tipo 3.

Esta folha é obtida a partir da informação das Tabelas VIII, IX e X (ver anexo) fornecidas pela Secretaria das Licenciaturas e, posteriormente, adaptadas ao problema em questão.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Nºda sala no programa	Edifício/Sala	Localização	Sala	Piso	Lotação	Característica
2	1	F1 001	F1	1	0	54	1
3	2	F1 002	F1	2	0	32	1
4	3	F1 003	F1	3	0	54	1
5	4	F1 004	F1	4	0	32	1
6	5	F1 005	F1	5	0	34	2

Figura 4 – Extrato da folha de Excel “salas”

A quarta folha de Excel, “horario”, contém os dados dos horários iniciais. Esta folha inclui os dados fornecidos pela Secretaria das Licenciaturas, tendo sofrido algumas alterações, nomeadamente, na separação da coluna que tem as várias turmas, para assim ficar uma turma por coluna, e também na transformação do formato das colunas com as horas de início e de fim das aulas.

A folha de Excel “horariomestrados” é em tudo idêntica à folha “horario”, com a única diferença resultante de ter informação relativa aos mestrados.

Dados tratados e outputs

A folha "horariotabela" (Figura 5) engloba a informação presente na folha "horarios", mas representada em forma de tabelas, em que cada tabela corresponde ao horário de uma turma. Já as várias aulas são representadas na tabela através da sigla da UC, seguida do tipo de UC, em caso de práticas (P) ou de teórico-práticas (TP). De seguida, é apresentada a sala onde decorre a aula. Por fim, nas aulas de maior duração aparecem dois hífenes (--) nos períodos até ao período correspondente ao do final da aula. Por exemplo, se se estiver perante uma aula teórica de uma hora e meia (correspondente a 3 períodos), aparece na primeira célula a sigla da UC, de seguida a sala onde a aula se realiza e, por fim, a última célula contém os hífenes. Um outro exemplo é o caso de uma aula prática de uma hora e meia. Neste caso, a primeira célula contém a sigla da UC, a segunda o tipo de UC, neste caso prática (P), e, por fim, consta a sala onde decorre a aula.

No fim de cada horário, linha 27 da Figura 5, é possível ver a qualidade medida em cada dia, e na linha 29 da mesma figura, consta a qualidade geral (semanal) do horário. Note-se que, quanto menor for o valor do índice de "qualidade" melhor é a qualidade do horário. É através da medida da qualidade semanal que a Heurística de Trocas vai atuar na ordenação das turmas a analisar.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1		ECN01E01	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta		ECN01E02	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta		MNG01E11	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
2		08:00-08:30	IG-E	IG-E					08:00-08:30							08:00-08:30	IG-E	IG-E		IG-E	M-E
3	1	08:30-09:00	F1 AF1	F1 AF23		CIF-E	CIF-E		08:30-09:00							08:30-09:00	F1 AF1	F1 AF23		P	P
4	2	09:00-09:30	EVE	CIF-E	EVE	P	P		09:00-09:30							09:00-09:30	AIEE-E	CIF-E	AIEE-E	F1 008	F1 110
5	3	09:30-10:00	F1 112	F1 AF23	P	F2 107	F2 103		09:30-10:00	M2-E				M2-E		09:30-10:00	TP	F1 AF23	TP	--	--
6	4	10:00-10:30	--	M-E	F1 118	IG-E	HEE-E		10:00-10:30	F1 113	M2-E			P		10:00-10:30	F2 103	M-E	F2 103		E-E-G
7	5	10:30-11:00	--	F1 AF23	--	P	P		10:30-11:00	--	F2 104			F1 107		10:30-11:00	--	F1 AF23	--		P
8	6	11:00-11:30	HEE-E	--		F2 103	F1 114		11:00-11:30	HEE-E	--			--		11:00-11:30	E-E-G	--			F1 110
9	7	11:30-12:00	F1 AF2	HEE-E	--		M-E		11:30-12:00	F1 AF2	HEE-E			HEE-E		11:30-12:00	F1 118	CIF-E			--
10	8	12:00-12:30		F1 AF23	M-E		P		12:00-12:30		F1 AF23			P		12:00-12:30	--	P	M-E		CIF-E
11	9	12:30-13:00				F1 AF21	F2 103		12:30-13:00					F1 107		12:30-13:00	--	F1 112	F1 AF21		P
12	10	13:00-13:30			--		--		13:00-13:30							13:00-13:30			--		F2 103
13	11	13:30-14:00							13:30-14:00							13:30-14:00					
14	12	14:00-14:30							14:00-14:30							14:00-14:30					
15	13	14:30-15:00							14:30-15:00							14:30-15:00					
16	14	15:00-15:30							15:00-15:30							15:00-15:30					
17	15	15:30-16:00							15:30-16:00							15:30-16:00					
18	16	16:00-16:30							16:00-16:30							16:00-16:30					
19	17	16:30-17:00							16:30-17:00							16:30-17:00					
20	18	17:00-17:30							17:00-17:30							17:00-17:30					
21	19	17:30-18:00							17:30-18:00							17:30-18:00					
22	20	18:00-18:30							18:00-18:30							18:00-18:30					
23	21	18:30-19:00							18:30-19:00							18:30-19:00					
24	22	19:00-19:30							19:00-19:30							19:00-19:30					
25	23																				
26		Qualidade dia:	4	0	2	1	6		Qualidade dia:	2	3	0	0	0		Qualidade dia:	6	2	3	0	3
27		Qualidade:	13						Qualidade:	5						Qualidade:	14				
28																					
29																					
30																					

Figura 5 – Extrato da folha de Excel "horariotabela"

São também apresentadas, nesta mesma folha, tabelas que facilitam a interpretação da qualidade dos horários para todas as turmas. Nas seguintes tabelas (Figuras 6 e 7) é possível visualizar a “qualidade” diária e semanal. Por exemplo, na Figura 6, segunda tabela coluna 2, indica-se que o índice de “qualidade” tomou o valor 0 em 116 dias, tomando em consideração todos os dias de todas as turmas. Na Figura 7, segunda tabela coluna 2, o valor 0 foi obtido 15 vezes, ou seja, a qualidade semanal é zero para 15 turmas. Observa-se, desta forma, quais os valores máximos, mínimos e médios dos vários horários, bem como o número de vezes que determinado valor é obtido.

Qualidade diária			Qualidade diária																
	Valor	Nº de ocorrências	Valor obtido	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Máximo	9	3	Nº de vezes	116	17	48	79	8	27	19	3	2	3	0	0	0	0	0	0
Mínimo	0	116																	
Média	2,1584																		

Figura 6 – Análise de resultados da qualidade diária

Qualidade semanal			Qualidade semanal																															
	Valor	Nº de ocorrências	Valor obtido	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Máximo	27	1	Nº de vezes	15	0	2	6	4	5	2	4	2	5	3	2	3	4	2	6	3	2	2	3	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
Mínimo	0	15																																
Média	8,798																																	

Figura 7 – Análise de resultados da qualidade semanal

A folha “salasocup” (Figura 8) apresenta uma tabela com a ocupação das salas para cada dia da semana, constituída pelas salas existentes no eixo horizontal e pelos períodos horários no eixo vertical.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1																										
2																										
3		Segund.	F1001	F1002	F1003	F1004	F1005	F1006	F1007	F1008	F1009	F1101	F1102	F1103	F1104	F1105	F1106	F1107	F1108	F1109	F1110	F1111	F1112	F1113	F1114	F1116
4	1	08:00	GES03M10															M								
5	2	08:30	GES03M10															M								
6	3	09:30	GES03M10														GES03M12	M	GES03M14				ECN03E01			
7	4	10:00	MNG03E11														GES03M12	M	GES03M14				ECN03E01	ECN03E02	ECN03E03	
8	5	10:30	MNG03E11									ECN03E01					GES03M12	FIN03M10	ECN03E03	GES03M14	GES03M15	ECN03E01	ECN03E02	GES03M16	ECN03E03	
9	6	11:00	MNG03E11									ECN03E01	MAEG03M22				GES03M12	FIN03M10	ECN03E03	GES03M14	GES03M15	ECN03E01	ECN03E02	GES03M16	ECN03E03	
10	7	11:30										ECN03E01	MAEG03M22				GES03M12	FIN03M10	ECN03E03	GES03M14	GES03M15		ECN03E01	ECN03E02	ECN03E03	
11	8	12:00										ECN03E01	MAEG03M22				GES03M12	FIN03M10	ECN03E03	GES03M14	GES03M15		ECN03E01	ECN03E02	ECN03E03	
12	9	12:30										ECN03L05	ECN03L05	MAEG03M22			GES03M12	FIN03M10	ECN03E03	GES03M14	GES03M15		ECN03E01	ECN03E02	ECN03E03	
13	10	13:00										ECN03L05	ECN03L05	MAEG03M22			GES03M12	FIN03M10	ECN03E03	GES03M14	GES03M15		ECN03E01	ECN03E02	ECN03E03	
14	11	13:30										ECN03L05	ECN03L05	MAEG03M22			GES03M12	FIN03M10	ECN03E03	GES03M14	GES03M15		ECN03E01	ECN03E02	ECN03E03	
15	12	14:00										ECN03L05	ECN03L05	MAEG03M22			GES03M12	FIN03M10	ECN03E03	GES03M14	GES03M15		ECN03E01	ECN03E02	ECN03E03	
16	13	14:30										ECN03L05	ECN03L05	MAEG03M22			GES03M12	FIN03M10	ECN03E03	GES03M14	GES03M15		ECN03E01	ECN03E02	ECN03E03	
17	14	15:00	MAEG02T21																							
18	15	15:30	MAEG02T21																							
19	16	16:00																								
20	17	16:30																								
21	18	17:00	ECN02T01																							
22	19	17:30	ECN02T01																							
23	20	18:00	ECN02T01																							
24	21	18:30	ECN02T01																							

Figura 8 – Extrato da folha de Excel “salasocup”

Assim, através desta tabela consegue-se saber que salas estão ocupadas nas várias horas do dia pelas UCs de licenciaturas e de mestrados do ISEG. Nesta tabela, uma célula com um M indica uma turma de mestrado e se contiver a sigla da turma escrita a turma é de Licenciatura. Como referido, não se pretende alterar as salas das turmas de mestrado, apenas as de licenciatura.

A folha “horariotabelafinal” (Figura 9) é em tudo semelhante à folha “horariotabela” (Figura 5, pág. 23), apresentando desta forma os horários finais após a aplicação da Heurística de Trocas. Para facilitar a visualização das mudanças que ocorreram nos horários, as células que contenham salas que mudaram, face aos horários iniciais, encontram-se coloridas a azul.

GE501M11	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	GE501M11	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	GE501M11	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00-08:30	M1	M1	M1			08:00-08:30	M1	M1	M1	M1		08:00-08:30	M1	M1	M1		E1-G
08:30-09:00	F1AF23	F1AF21	F1AF22			08:30-09:00	F1AF23	F1AF21	F1AF22	P	CIF	08:30-09:00	F1AF23	F1AF21	F1AF22		P
09:00-09:30	E1-G	CIF	AIEE			09:00-09:30	E1-G		IG	F1106	P	09:00-09:30	E1-G	CIF	CIF		F1104
09:30-10:00	F2AF4	P	TP			09:30-10:00	F2AF4		P	--	F1118	09:30-10:00	F2AF4	P	P		--
10:00-10:30	F1110	F1109	M1	CIF		10:00-10:30	AIEE	AIEE	F1112	CIF	E1-G	10:00-10:30	IG	F1106	F1110	M1	AIEE
10:30-11:00	E1-G	IG	--	P	P	10:30-11:00	TP	TP	--	P	P	10:30-11:00	P	AIEE		P	TP
11:00-11:30	P	P		F1AF2	F2106	11:00-11:30	F1114	F1205		F1006	F1118	11:00-11:30	F1110	TP		F1118	F1104
11:30-12:00	F2207	F1110		--	AIEE	11:30-12:00	--	--			--	11:30-12:00	--		F1106		--
12:00-12:30	--	--	IG	IG	TP	12:00-12:30	--	--	IG	IG		12:00-12:30	--	--	IG	IG	
12:30-13:00	CIF	E1-G	F2AF3	F2AF3	F1114	12:30-13:00	CIF	E1-G	F2AF3	F2AF3		12:30-13:00	CIF	E1-G	F2AF3	F2AF3	
13:00-13:30	F2AF4	F2AF3			--	13:00-13:30	F2AF4	F2AF3				13:00-13:30	F2AF4	F2AF3			
13:30-14:00						13:30-14:00						13:30-14:00					
14:00-14:30						14:00-14:30						14:00-14:30					
14:30-15:00						14:30-15:00						14:30-15:00					
15:00-15:30						15:00-15:30						15:00-15:30					
15:30-16:00						15:30-16:00						15:30-16:00					
16:00-16:30						16:00-16:30						16:00-16:30					
16:30-17:00						16:30-17:00						16:30-17:00					
17:00-17:30						17:00-17:30						17:00-17:30					
17:30-18:00						17:30-18:00						17:30-18:00					
18:00-18:30						18:00-18:30						18:00-18:30					
18:30-19:00						18:30-19:00						18:30-19:00					
19:00-19:30						19:00-19:30						19:00-19:30					
Qualidade dia:	7	5	5	3	3	Qualidade dia:	9	4	5	5	0	Qualidade dia:	9	5	5	3	0
Qualidade:	23					Qualidade:	23					Qualidade:	23				

Figura 9 – Extrato da folha de Excel “horariotabelafinal”

Nesta folha são também apresentadas as tabelas de análise da qualidade diária e semanal. Para além disso, a folha inclui uma tabela com as melhorias a nível de qualidade, ou seja, é feita uma comparação entre os horários iniciais e finais (diferença entre os valores finais e iniciais da qualidade) (Figura 10).

Por exemplo, o valor de 1 na melhoria no índice de qualidade diária (Figura 10, linha 1, coluna 2) pode resultar de um de três casos:

- i) se duas aulas que estavam a ocorrer no mesmo piso mas em salas separadas, ficam na mesma sala (a qualidade passa de 1 para 0);
- ii) se duas aulas consecutivas que estavam em pisos diferentes, ficarem em salas diferentes do mesmo piso, alterando apenas uma delas (a qualidade altera de 2 para 1);
- iii) se duas aulas consecutivas que estavam a ocorrer em edifícios diferentes, ficam no mesmo edifício mas em pisos diferentes (a qualidade passa de 3 para 2).

Esta melhoria verifica-se em 15 dias de todas as turmas (Figura 10, linha 3).

Por outro lado, os valores da linha 2 da Figura 10 representam o número de turmas em que se verificam melhorias de qualidade semanal. Por exemplo, o valor 7 na coluna 3 indica que a qualidade semanal do horário de 7 turmas melhorou em 2 pontos. Tal corresponde à existência turmas em que se verifica uma melhoria de qualidade de 2 pontos num dos dias ou dois dias com melhorias de qualidade de 1 unidade.

Melhorias de qualidade em:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Nº ocorrências semana (nº de turmas)	2	7	0	1	4	0	0	0	0	0	14
Nº ocorrências dia (nº de dias-turma)	15	11	1	0	0	0	0	0	0	0	27

Figura 10 – Melhorias da qualidade final face à inicial (Folha de Excel “horariotabelafinal”)

Por fim, a folha "salasocupfinal" (Figura 11), idêntica à folha "salasocup" (Figura 8, pág. 24), apresenta as salas livres e ocupadas depois de aplicada a Heurística de Trocas. À semelhança da folha “horariotabelafinal” esta exhibe a azul as alterações sofridas face às salas iniciais.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE
1																															
2																															
3																															
4																															
5																															
6																															
7																															
8																															
9																															
10																															
11																															
12																															
13																															
14																															
15																															
16																															
17																															
18																															
19																															
20																															
21																															
22																															
23																															

Figura 11 – Extrato da folha de Excel “salasocupfinal”

5.2 Procedimentos iniciais

Nesta secção explicitam-se os passos a seguir, por qualquer utilizador do sistema, antes de colocar o programa a funcionar.

Primeiro é necessário importar os dados dos horários extraídos do BEST para o Excel. Tem de se ter em conta, para o semestre em questão, os horários das licenciaturas e os horários dos mestrados. Os dados das licenciaturas devem ser copiados para a folha “horario” e os dos mestrados para a folha “horariomestrados”, mantendo o formato inicial.

Nestas duas folhas é necessário realizar um conjunto de passos manualmente para pôr o programa a funcionar. Começa-se por identificar as diferentes turmas que constam da coluna G da Figura 12 e ordenar a tabela por ordem alfabética de turmas. Deste modo os dados referentes a cada turma aparecem de forma sequencial, o que facilita a sua leitura e diminui o tempo de execução do programa.

Seguidamente, no menu principal deve ser premido o botão “Preparar dados”, para se realizar um conjunto de ações automáticas sobre as folhas dos dados, das licenciaturas e dos mestrados, necessárias à execução do programa principal.

O último passo que tem de ser dado consiste em verificar a mensagem que aparece nas novas colunas das horas, tanto na folha “horario” como na folha “horariomestrados”. Assim, se o número destas células está formatado como texto ou precedido por um apóstrofe, há que efetuar a sua transformação para formato numérico. Para tal, basta selecionar a coluna e com o botão esquerdo do rato selecionar “Converter em número” (Figura 12).

	G	H	I	J	K	P	Q	R	S	T	U	V
1	ECN01E01	ECN01E01				F1114	Sexta		10,00	11:30	11,30	2017-09-18
2	ECN01E01	ECN01E01				F1112	Segunda					7-09-18
3	ECN01E01	ECN01E01				F1118	Quarta					7-09-18
4	ECN01E01	ECN01E01				F2 103	Sexta					7-09-18
5	ECN01E01	ECN01E01				F2 103	Quinta					7-09-18
6	ECN01E01	ECN01E01				F2 107	Quinta					7-09-18
7	ECN01E01	ECN01E01				F2 103	Sexta					7-09-18
8	ECN01E01,ECN01	ECN01E01	ECN01E02			F1AF2	Segunda					7-09-18
9	ECN01E01,ECN01	ECN01E01	ECN01E02			F1AF23	Terça					7-09-18
10	ECN01E01,MNG0	ECN01E01	MNG01E11			F1AF23	Terça					7-09-18
11	ECN01E01,MNG0	ECN01E01	MNG01E11			F1AF21	Quarta	12:00	12,00	13:30	13,30	2017-09-18
12	ECN01E01,MNG0	ECN01E01	MNG01E11			F1AF23	Terça	09:00	9,00	10:00	10,00	2017-09-18

Figura 12 – Extrato da folha de Excel “horario”

Desta forma, o programa principal está pronto a ser executado. O utilizador deve, na folha do menu (Figura 2, pág. 19), premir os botões existentes, que foram descritos, de forma sequencial para obter como resultado final os horários melhorados, na folha de *output* “horariotabelafinal” (Figura 9, pág. 25).

De seguida, é apresentado o conjunto de ações automáticas que se realizam quando o utilizador prime o botão “Preparar dados”.

As ações que são realizadas automaticamente sobre os dados, folhas “horario” e “horariomestrados” consistem em adicionar cinco colunas (número máximo de turmas por sala de aula) à direita da coluna G (Figura 12), se for licenciatura, ou três colunas (número máximo de turmas por sala), se for mestrado. Seguidamente, é feita uma cópia e a separação do conteúdo das células da coluna G, resultando uma turma por célula. Logo, a coluna G fica com as várias turmas de um dado turno e as colunas H, I, J, K e L com apenas uma turma em cada célula, facilitando deste modo a leitura dos horários.

Outro passo consiste em substituir a sigla da UC Probabilidades na folha “horário”. Inicialmente no *input* que vem do BEST é utilizada a sigla P. Contudo, para se definirem as unidades curriculares do tipo práticas também é usada a sigla P. Isto originaria problemas no cálculo da qualidade dos horários, por não ser possível identificar qual dos P corresponde à UC ou ao tipo de aula. A fim de solucionar este problema substitui-se a sigla da unidade curricular P por PROB.

Por fim, é adicionada uma coluna à direita da coluna de hora de início (coluna R) e outra à direita da coluna de hora de fim (coluna T). De seguida, são copiadas para as novas colunas (S e U) as respetivas horas, com uma alteração de formato, transformando o tipo de hora de “hh:mm” em “hh,mm”. Ou seja, criam-se duas novas colunas substituindo nos dados das horas, os dois pontos (:) por uma vírgula (,) permitindo, desta forma, definir as horas e os minutos por um valor real.

Para terminar este capítulo, é apontada como uma melhoria futura para este projeto (programa): a automatização do tratamento dos dados iniciais, facilitando a utilização do programa por parte do utilizador.

6. Análise de resultados

6.1 Qualidade inicial

Utilizou-se para caso de estudo os horários do primeiro semestre do ano letivo 2017/2018. Para fazer um estudo geral dos resultados que a metodologia desenvolvida produz, começa-se por analisar a qualidade dos horários iniciais, ou seja, dos horários gerados pelo BEST.

A qualidade de cada horário é medida em função do número de mudanças de sala que a respetiva turma efetua. Sendo assim, a qualidade é medida dia-a-dia (os valores são apresentados nas Tabelas II e IV), e depois é feita, a soma à semana (assumindo uma semana normal de cinco dias de uma determinada turma), ou seja, em cada dia é calculado um valor de qualidade, sendo este depois somado aos dos restantes quatro dias da semana para obter a qualidade final do horário de cada turma (ver Tabelas III e V).

Valor da qualidade diária	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nº ocorrências (nº de dias-turma)	116	17	48	79	8	27	19	3	2	3

Tabela II – Valores de qualidade diária inicial

Os valores que são utilizados para fazer a medição, para cada duas aulas consecutivas da mesma turma, como referido anteriormente, são: 0 quando a turma não muda de sala; 1 se muda para uma sala no mesmo corredor (piso); 2 se muda para uma sala no mesmo edifício, mas em corredores (pisos) diferentes; e, por fim, 3 se muda para uma sala em outro edifício.

Assim, o valor mais alto obtido para a qualidade diária foi 9 (obtendo-se 3 dias com este valor em todas as turmas) e o mais baixo foi 0 (obtendo-se 116 dias, em todas as turmas, com este valor). Normalmente, o valor 0 é obtido nos dias em que apenas há uma aula, não ocorrendo alterações de sala, ou nos dias em que existem várias aulas seguidas do mesmo tipo, por exemplo, várias teóricas seguidas ou várias práticas na mesma sala. Já o valor de 9 é obtido em dias com quatro aulas consecutivas em edifícios diferentes, sendo que só se obteve este valor três vezes, como é possível verificar na Tabela II.

Obtém-se uma média de 2,15 para o índice de “qualidade”, sendo um valor bastante baixo. Contudo, isto deve-se ao facto de a média ser muito sensível a valores extremos e, como se obtiveram muitos 0 (116 ocorrências) e poucos valores altos (o 7 aparece três vezes, o 8 aparece duas vezes e o 9 três vezes), a média não é elevada.

Já no que respeita à qualidade semanal dos horários obtiveram-se valores entre 0 e 27. Sendo que os horários que obtiveram 0, foram os que apenas tinham uma aula por dia, ou seja, não existiam mudanças de salas ou os que tinham duas aulas do mesmo tipo por dia lecionadas na mesma sala. É notório que a maioria dos casos em que esta segunda situação acontece corresponde a horários de turmas de repetentes (por exemplo: ECO01R01) ou de optativas (por exemplo: ECO03L07) e, por isso, têm apenas uma ou duas aulas por dia.

O valor de 27 apenas foi obtido uma vez (ver Tabela III), pela turma MAEG01M21, que não teve duas aulas consecutivas a decorrer na mesma sala (Figura 13, pág. 35). O valor 0 é obtido por 15 turmas, no entanto, valores superiores ou iguais a 20 verificaram-se quatro vezes. Assim, a média de valores para a qualidade semanal foi de 8,80 (ver Figura 7, pág. 24).

Valor da qualidade semanal	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nº ocorrências (nº de turmas)	15	0	2	6	4	5	2	4	2	5	3	2	3	4
Valor	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Nº ocorrências (nº de turmas)	2	6	3	2	2	3	0	0	1	0	1	1	0	1

Tabela III – Valores de qualidade semanal inicial

É visível que após o programa fazer o preenchimento da folha de Excel “salasocup” (Figura 8, pág. 24), para os vários dias da semana, ainda existem salas vazias em períodos consecutivos. Assim, é possível alterar as aulas de determinada turma para uma das salas vazias, caso necessário.

6.2 Qualidade final

Nesta secção é feita uma análise dos horários tendo em conta o objetivo de reduzir as mudanças de sala, depois de se ter aplicado a Heurística de Trocas sobre os horários iniciais obtidos através do BEST.

Após o programa ser executado, o valor mais alto obtido para a qualidade diária foi 9 e o mais baixo foi 0, valores estes iguais aos obtidos com os horários iniciais. Note-se que o valor mínimo de 0 passa de 116 ocorrências (diárias) para 117 (Tabelas II e IV).

Relativamente ao valor máximo de 9, este mantém-se inalterado, embora com menos uma ocorrência. Sendo assim, continuam a verificar-se dias com 4 aulas consecutivas em edifícios diferentes.

Fazendo uma comparação do número de ocorrências iniciais (Tabela II) e finais (Tabela IV) é notório que onde houve maiores alterações foi no valor 1 e no valor 3. Constata-se um grande aumento do número de ocorrências do valor 1 (de 17 para 32 dias-turma) e uma diminuição do valor 3 (de 79 para 65 dias-turma).

Após a aplicação da Heurística de Trocas o valor médio para a qualidade ao dia é 2,03, um pouco inferior ao inicial (2,15).

Valor	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nº ocorrências (nº de dias-turma)	117	32	47	65	9	27	18	3	2	2

Tabela IV – Valores de qualidade diária final

Por fim, para o índice da qualidade semanal do horário por turma obtiveram-se também valores entre 0 e 27. Sendo que os horários que obtiveram 0, foram os que apenas tinham uma aula por dia ou os que tinham mais que uma aula, mas a decorrer na mesma sala, ou seja, não existiam mudanças de salas (ver Tabela V).

O valor de 27 apenas foi obtido uma vez, novamente na turma MAEG01M21, ou seja, esta turma não sofreu qualquer alteração face ao horário inicial. Mais à frente vai ser feita uma análise mais detalhada ao caso desta turma. O valor 0 é obtido 15 vezes, tal como nos horários iniciais.

Percebe-se que, após a aplicação da Heurística de Trocas, não foi possível aumentar o número de horários com índice de qualidade 0, isto é, com qualidade máxima. É evidente que, apesar de não haver alteração nos valores extremos, se analisarmos os valores iniciais (Tabela III) e finais (Tabela V) percebe-se que existiram várias alterações nos valores intermédios, entre 1 e 26, o que permitiu baixar o valor médio do índice de qualidade. Assim, a média de valores que se obtiveram para o índice da qualidade semanal foi de 8,29, ou seja, aproximadamente 0,5 inferior ao valor inicial.

Valor	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nº ocorrências (nº de turmas)	15	0	3	7	5	6	1	6	1	5	2	1	2	4
Valor	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Nº ocorrências (nº de turmas)	1	6	4	3	1	2	0	0	1	2	0	0	0	1

Tabela V – Valores de qualidade semanal final

Deste modo, é notório que após a aplicação da Heurística de Trocas as melhorias dos horários não foram muito significativas, em resultado das várias simplificações ao problema. O índice médio da qualidade diária passou de 2,15 para 2,03, enquanto o da qualidade semanal passou de 8,80 para 8,29.

Os resultados obtidos foram expostos à Secretaria das Licenciaturas, uma vez que esta realiza o mesmo processo manualmente. Estes resultados já eram esperados, porque da experiência tida na elaboração de horários se pode concluir que não é possível fazer grandes mudanças aos horários iniciais obtidos pelo BEST. Isto porque na maioria dos casos não existem salas vazias disponíveis, com as características pretendidas, para fazer as mudanças.

É notório que depois do programa ser executado se obtém o mesmo número de salas ocupadas que inicialmente, porque o número de turmas e aulas se mantém inalterado. Contudo, a distribuição das salas apresenta algumas diferenças face aos horários iniciais.

6.3 Comparação de horários antes e depois da aplicação da heurística

Como referido em 5.1, a folha “horariotabelafinal” inclui uma tabela para comparação da qualidade dos horários iniciais e finais (Figura 10, aqui repetida por conveniência, na Tabela VI).

Melhorias de qualidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
Nº ocorrências (nº de turmas)	2	7	0	1	4	0	0	0	0	14
Nº ocorrências (nº de dias-turma)	15	11	1	0	0	0	0	0	0	27

Tabela VI – Melhoria da qualidade após aplicação da Heurística de Trocas

Após a análise dos vários horários obtidos verifica-se que 14 turmas viram os seus horários melhorados, ou seja, o valor do índice da qualidade semanal modificou-se (Tabela VI). Sendo que estas 14 alterações da qualidade semanal, correspondem a 27 alterações da qualidade diária, ou seja, em média só ocorreram alterações de salas em aproximadamente dois dias por semana para cada horário de turma alterado ($27/14 \approx 2$).

Assim, para todas as turmas consegue-se diminuir em 1 unidade o índice de qualidade em 15 dias, em 2 unidades em 11 dias e, por fim, baixar o valor da qualidade em 3 unidades em um dia. Neste último caso, duas aulas consecutivas da mesma turma lecionadas em edifícios diferentes, passaram a estar afetas à mesma sala.

A nível percentual foram alterados 17,72% dos horários ($\frac{14}{79} \times 100$). Os 14 horários modificados correspondem a 27 mudanças de sala, 11 mudanças de piso e 16 mudanças de edifício.

Das 16 mudanças de edifício que ocorreram, oito delas foram para o mesmo piso da sala anterior, ou seja, a qualidade passou de 3 para 1. Ocorreu também uma mudança para a mesma sala, tendo a qualidade passado de 3 para 0, o melhor resultado possível. Já das 11 mudanças de piso que ocorreram, uma delas foi para a mesma sala da aula anterior, ou seja, a qualidade passou de 2 para 0. Nos restantes casos, a qualidade passou de 2 para 1, uma vez que a mudança só ocorreu para o mesmo piso.

6.4 Tempo de execução do programa

Para contabilizar o tempo que o programa demora foram feitas cinco medições do tempo de execução aos várias subprogramas existentes. Deste modo, obtiveram-se os tempos para resolver o problema de alteração de salas para as turmas de licenciaturas relativo ao primeiro semestre do ano letivo 2017/2018, apresentados na Tabela VII. Para além do tempo de execução dos subprogramas, há também necessidade de contabilizar o tempo de importação dos dados dos horários das licenciaturas e dos mestrados, bem como o tempo do seu tratamento.

Subprogramas	Tempo médio
Preparar dados	00m:02s:80ms
Limpar dados	00m:13s:78ms
Preencher dados iniciais	02m:47s:44ms
Calcular qualidade inicial	00m:08s:72ms
Modificar horários	00m:52s:78ms
Calcular qualidade final	00m:10s:47ms
Total subprogramas	03m:35s:99ms
Importação e tratamento dos dados	01m:23s:38ms
Total programa	04m:59s:37ms

Tabela VII – Tempo médio de execução do programa

O tempo total médio foi aproximadamente de 5 minutos, sendo bastante baixo comparativamente com o tempo que se demoraria a fazer este processo manualmente, uma vez que só a análise de um dos dias de um dado horário demoraria certamente mais de 5 minutos.

6.5 Análise do pior caso identificado

É visível que após a aplicação da Heurística de Trocas, a pior turma em termos de qualidade é a MAEG01M21, com um índice de “qualidade” igual a 27. De facto, esta não sofreu qualquer alteração face ao horário inicial (Figura 13), não tendo nenhuma aula consecutiva a ocorrer na mesma sala.

MAEG01M	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
08:00-08:30	E1	E1	AM1	ESTD	AM1
08:30-09:00	P	F1 AF24	TP	P	TP
09:00-09:30	F1 214		F1 102	F1 003	F1 202
09:30-10:00	--	ESTD	--		IG
10:00-10:30	IG	F2 203	E1		P
10:30-11:00	F2 AF4	--	F1 AF2	IG	F1 116
11:00-11:30	AM1	AL		F2 AF3	--
11:30-12:00	TP	F1 101		AL	AL
12:00-12:30	F1 202			P	P
12:30-13:00	AL			F1 006	F2 108
13:00-13:30	F1 101				
13:30-14:00					

Figura 13 – Horário inicial e final da turma MAEG01M21

Fazendo uma análise ao dia verifica-se que todas as trocas que inicialmente parecem passíveis de se realizar, acabam por não ser possíveis.

Iniciando na segunda-feira, verifica-se que existem duas aulas teóricas, IG e AL, que não podem ser alteradas. Ficam, assim, duas possíveis mudanças, E1 e AM1. Contudo não é possível mudar a sala de E1 para a de IG, pois a sala AF4 é apenas para aulas teóricas. Da mesma forma, não se consegue mudar a sala de AM1 para o AF4. A única mudança restante é a AM1 para a sala de AL mas, na folha de ocupação de salas, constata-se que a sala F1 101 se encontra ocupada à hora pretendida, inviabilizando a mudança.

A terça-feira não necessita de ser analisada uma vez que, como as aulas são todas teóricas, não são permitidas trocas.

Já na quarta-feira existe a possibilidade de mudar a sala de AM1, uma vez que esta é uma aula teórico-prática ao contrário de E1 que é teórica. Contudo, não é possível mudar a sala de AM1 para a de E1, pois a sala de E1 está ocupada nesse período.

Na quinta-feira há duas aulas práticas e entre estas uma aula teórica. Assim, só se pode tentar mudar as salas das aulas práticas. Porém, a sala de IG, F2 AF3, destina-se apenas a aulas teóricas, inviabilizando a troca.

Por fim, na sexta-feira não há nenhuma aula teórica, indicando que se pode tentar alterar todas as salas. No entanto, verifica-se, na folha de salas ocupadas, que as três salas estão ocupadas praticamente todo o dia, o que inviabiliza qualquer troca entre estas.

7. Limitações e investigação futura

Existem alguns aspetos que podem ser melhorados futuramente em sequência deste trabalho.

Um dos pontos mais importantes é o de poder ter em conta o número de alunos por turma quando se faz a reafetação das salas pelas várias aulas das turmas. De facto, salas com diferentes capacidades (ver Tabelas VIII, IX e X) e turmas com diferente número de alunos inscritos podem inviabilizar a realização de algumas trocas, pois a capacidade da sala tem sempre de ser respeitada.

Em segundo lugar, os turnos de aulas práticas ou teórico-práticas constituídos por várias turmas diferentes, não foram considerados no presente trabalho. No entanto, estes podem também ser considerados na elaboração de horários de melhor qualidade, admitindo alteração de salas.

Pode também ser feita uma análise das aulas teóricas, permitindo diminuir também as deslocações de salas entre as mesmas.

Outra alteração que futuramente pode ser considerada consiste em permitir a troca direta entre turmas e não só a troca para salas vazias. Por exemplo, quando já não existirem salas livres que permitam fazer as mudanças, fazer trocas diretas entre duas turmas.

É também possível elaborar uma análise semelhante para os horários dos mestrados, pós-graduações, doutoramentos e dos vários cursos executivos.

Por fim, existe ainda a possibilidade de automatizar os passos iniciais, que são realizados antes de colocar o programa a funcionar.

Em suma, devido às simplificações descritas, utilizadas na elaboração do programa, algumas das possíveis alterações de sala são inviabilizadas. Obteve-se, assim, um número menor de alterações de horários do que seria possível caso estas simplificações não fossem consideradas.

8. Conclusão

O programa desenvolvido ao longo deste trabalho para a reatribuição de salas em horários escolares foi elaborado aplicando conhecimentos adquiridos ao longo do mestrado em Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial, essencialmente na unidade curricular de Computação, nomeadamente a linguagem VBA.

Pretendeu-se auxiliar a Secretaria das Licenciaturas no processo de melhoria de horários que saem do programa informático usado e, assim, melhorar a qualidade dos horários, beneficiando os alunos das licenciaturas do ISEG.

Após a análise dos horários obtidos através do programa e da qualidade dos mesmos, é visível que se conseguem obter melhores horários que os que foram utilizados no primeiro semestre do ano letivo de 2017/2018, no que respeita a troca de salas entre aulas consecutivas.

Uma vez que o tempo de execução do programa é bastante curto, em relação ao tempo que a alteração manual exige, comprometo-me a apoiar e dar formação na utilização do mesmo. Da mesma forma, estou disponível a novas sugestões de melhoria que sejam solicitadas, no sentido de facilitar o processo de reatribuição de salas.

Conclui-se este projeto fazendo uma ressalva. Foram feitas bastantes simplificações na representação da realidade na metodologia de resolução em VBA devido à elevada complexidade do problema em estudo, nomeadamente quando não se considerou o número de alunos por turma e as capacidades das salas ou as alterações de sala de aulas teóricas. Assim, os resultados obtidos podem ser enviesados e, provavelmente, não seriam os mesmos caso se estivesse perante um programa que respeitasse a realidade em análise de forma mais fidedigna.

Referências bibliográficas

- [1] <https://www.iseg.ulisboa.pt/aquila/instituicao/ISEG/quem-somos/historia>
[acesso em: 14/01/2018]
- [2] <https://www.iseg.ulisboa.pt/aquila/instituicao/ISEG/cursos/licenciaturas>
[acesso em: 14/01/2018]
- [3] <https://www.iseg.ulisboa.pt/aquila/instituicao/ISEG/quem-somos/missao-e-valores> [acesso em: 14/01/2018]
- [4] <https://www.bulletsolutions.com> [acesso em: 15/01/2018]
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=O57PiuToEDc> [acesso em: 15/01/2018]
- [6] Fonseca, G., Santos, H., Carrano, E., Stidsen, T. (2017). Integer programming techniques for educational timetabling. *European Journal of Operational Research*, **262**: 28-39
- [7] Carrasco, M.P., Pato, M.V. (2001). A Multiobjective Genetic Algorithm for the Class/Teacher Timetabling Problem. In: Burke E., Erben W. (eds). Practice and Theory of Automated Timetabling III. PATAT 2000. Lecture Notes in Computer Science, **2079**:3-17. Springer, Berlin, Heidelberg
- [8] Lindahl, M., Mason, A., Stidsen, T., Sørensen, M. (2018). A Strategic View of University Timetabling. *European Journal of Operational Research*, **266**: 35-45
- [9] Wren A. (1996). Scheduling, timetabling and rostering — A special relationship?. In: Burke E., Ross P. (eds). Practice and Theory of Automated Timetabling. PATAT 1995. Lecture Notes in Computer Science, **1153**: 46-75, Springer, Berlin, Heidelberg

[10] Duarte, T. (2017), *Escalonamento de provas de avaliação: uma aplicação*. Projeto de Mestrado em Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial. Instituto Superior de Economia e Gestão – Universidade de Lisboa, Lisboa

[11] Demirović, E., Musliu, N. (2017). Modeling high school timetabling with bitvector. *Annals of Operations Research*, **252**: 215-238

[12] Saviniec, L., Santos, M., Costa, A. (2018). Parallel local search algorithms for high school timetabling problems. *European Journal of Operational Research*, **265**: 81-98

[13] <http://www.cs.qub.ac.uk/itc2007/> [acesso em: 15/08/2018]

[14] Hillier, F.S., Lieberman, G.J. (2010). *Introduction to Operations Research* (9th ed). New York: McGraw-Hill Internacional Edition

[15] Eksioglu, S., Seref, M., Ahuja, R., Winston, W. (2011). *Developing Spreadsheet-Based Decision Support Systems* (29th ed). Dynamic Ideas LLC

Anexo

Edifício	Piso	Sala	Capacidade		Nºda sala no programa	
			Aulas	Exames		
F1	0	001	54	27	1	
		002	32	16	2	
		003	54	27	3	
		004	32	16	4	
		005	34		5	
		006	46	23	6	
		007	24		7	
		008	54	27	8	
		010	46	23	9	
	1	101	60	30	10	
		102	54	27	11	
		103	60	30	12	
		104	54	27	13	
		105	56	28	14	
		106	54	27	15	
		107	54	27	16	
		108	60	30	17	
		109	60	30	18	
		110	60	30	19	
		111	42		20	
		112	54	27	21	
		113	54	27	22	
		114	60	30	23	
		116	60	30	24	
		118	60	30	25	
		2	202	44	22	26
			205	32	16	27
	207A		Sala Docentes		-	
	207B		Sala Docentes		-	
	208		30	-	28	
	209		30	-	29	
	210		Sala Estudo 1º Ciclo		-	
	212		Sala Estudo 1º Ciclo		-	
	214		60	30	30	
	AF21		100	25	31	
	AF22		100	25	32	
AF23	100		25	33		
AF24	100		25	34		
-1	AF1	101	25	35		
	AF2	101	25	36		
Total F1			2076	807	-	

Tabela VIII – Capacidade do edifício Francesinhas 1 (F1)

Edifício	Piso	Sala	Capacidade		Nºda sala no programa
			Aulas	Exames	
F2	1	101	62	-	37
		102	62	-	38
		103	40	20	39
		104	44	22	40
		105	40	20	41
		106	44	22	42
		107	40	20	43
		108	44	22	44
		109	40	20	45
	2	201	62	-	46
		202	62	-	47
		203	40	20	48
		204	Sala Estudo 3º Ciclo		-
		205	Career Manag. ISEG		-
		206	Laboratório C. Inv.		-
		207	28	14	49
		208	Reuniões Docentes		-
		209	Sala Estudo 2º Ciclo		-
		210	Sala Estudo 2º Ciclo		-
		211	Sala Estudo 2º Ciclo		-
	-1	AF3	210	50	50
		AF4	210	50	51
Total F2			1028	280	

Tabela IX – Capacidade das salas do edifício Francesinhas 2 (F2)

Edifício	Piso	Sala	Capacidade		Nºda sala no programa
			Aulas	Exames	
Quelhas	1	AUD4	72	-	52
		AUD5	130	-	53
		101	46	23	54
	2	AUD1 - CGD	245	-	55
		AUD2	78	-	56
		AUD3	60	-	57
		201 - Edifer	35	16	58
		202	27	14	59
		205	Sala Funcionários		-
		3	302 - Staples	32	16
	303 - Santander		24	12	61
	304 - Millenium		GEP	-	-
	305 - lapmei		21	10	62
	306		21	10	63
	307 - Delta		40	20	64
	308		MIT	-	-
	318 - CTT		41	20	65
	4	ANF1	46	23	66
		ANF2 - Novo Banco	60	30	67
		ANF3	42	21	68
		ANF4	42	21	69
		Salão Nobre	-	90	-
Total Quelhas			1062	326	

Tabela X – Capacidade das salas do edifício Quelhas